

Jarosław WARCZYŃSKI, Robert PUROL
Politechnika Poznańska

STEROWANIE ZAPASAMI W MAGAZYNIE ZBOŻOWYM

Streszczenie. W pracy przedstawiono sposób automatyzacji podstawowych funkcji magazynu zbożowego zakładu młynarskiego. Chodzi tutaj o takie funkcje, jak: odbiór zboża z dostawy, sporządzanie mieszanki ziarna o zadanych parametrach technologicznych oraz zapewnienie ciągłości transportu zboża do działu produkcyjnego. Sterowanie wymienionymi funkcjami powierzono sterownikowi PLC. Zastosowano również system MMI/SCADA do nadzoru i sterowania nadrzędnego oraz wizualizacji procesów zachodzących w ramach wspomnianych funkcji.

ON CONTROL OF RESOURCES IN A GRAIN STOREHOUSE

Summary. An automation solution for the grain storehouse of a flour-mill workshop has been presented in the paper. The solution includes automating main functions of the storehouse such as grain receiving, preparing grain mixture of desired technological parameters, and assurance continuity of its transportation to the mill workshop. For the purpose of automated controlling the above mentioned functions a PLC controller has been used. Also a MMI/SCADA system of integrated programs for supervising and monitoring of the automated processes has been applied.

1. Wprowadzenie

Istniejące obecnie warunki rynkowe zmuszają przedsiębiorstwa, które chcą im sprostać, do zastosowania nowych strategii, metod i środków technicznych, pozwalających na obniżanie kosztów wytwarzania oraz osiąganie wysokiej jakości produkcji. Wysoka jakość produkcji powinna być udokumentowana w sposób nie budzący wątpliwości, a więc najlepiej taki, jaki przewidują wymagania norm serii ISO 9000. Posiadanie certyfikatu jakości według tych norm staje się coraz częstszym wymogiem w eksporcie, kooperacji z firmami zachodnimi lub przetargach. Ponadto, firmy posiadające zaawansowane systemy zapewnienia jakości preferują na ogół dostawców z certyfikatami.

W pracy przedstawiono automatyzację podstawowych funkcji magazynu zbożowego zakładu młynarskiego, która ma na celu podniesienie jakości produktu finalnego, obniżenie

kosztów działania magazynu oraz sprostanie tzw. procesowym wymaganiom norm serii ISO 9000 w zakresie pracy magazynu.

Odrębnym celem pracy jest prezentacja matematycznego modelu problemu wielokryterialnego podejścia do zagadnienia mieszania ziarna we wspomnianym magazynie.

Wyprodukowanie dobrej mąki wymaga starannego przygotowania surowca, którym jest zboże. Głównymi cechami zbóż chlebowych, decydującymi o ich ocenie technologicznej, są: wartość wymiאלowa ziarna i wartość wypiekowa mąki otrzymanej z tych ziaren [2]. Wysoka wartość wymiאלowa ziarna zapewnia uzyskanie dobrej wydajności surowca (tzw. wysoki wyciąg mąki), przy równoczesnych niskich kosztach przemiału. Dobre właściwości przemiałowe ziarna zależą od takich czynników, jak: wilgotność ziarna, jego struktura, wykształcenie, czystość oraz niska zawartość popiołu [2]. Natomiast wartość wypiekowa mąki zależy od właściwości fizycznych i chemicznych ziarna i należy rozumieć przez nią zespół tych właściwości, które pozwalają otrzymać ciasto zdolne do dobrego wyrośnięcia, oraz maksymalną wydajność gotowego pieczywa. W mąkach pszennych właściwość ta zależy głównie od jakości i ilości zawartego w mące glutenu, odgrywającego najważniejszą rolę w procesie tworzenia się ciasta. Gluten jest substancją białkową (ok. 80% białka) składającą się głównie z gliadyny i gluteniny, która dzięki charakterystycznej właściwości pęcznienia w wodzie podczas zarabiania mąki z wodą tworzy w cieście kleistą i elastyczną masę, zatrzymującą pęcherzyki dwutlenku węgla, powstającego w procesie fermentacji ciasta, co zapewnia mu porowatą, elastyczną i ciągliwą strukturę, umożliwiającą dobre jego wyrośnięcie w trakcie wypieku [2].

2. Zadania magazynu zbożowego zakładu młynarskiego

Istnieją trzy główne zadania magazynu. Pierwszym zadaniem, które nie wymaga szerszego komentarza, jest gromadzenie zboża w silosach. Zadaniem drugim jest właściwa segregacja zboża, co jest niezbędne do wykonania zadania trzeciego, którym jest dostarczanie zboża do działu produkcji mąki. Dostarczanie to odbywa się za pośrednictwem transportera, który napełnia specjalny zbiornik produkcyjny, skąd zboże trafia bezpośrednio do przemiału. Wyprodukowanie mąki o wysokich parametrach jakościowych wymaga, aby średnia zawartość glutenu w zbożu kierowanym do zbiornika produkcyjnego była zgodna z zapotrzebowaniem działu produkcyjnego oraz żeby była stała wzdłuż przekroju zbiornika. Oznacza to, że zboże powinno być mieszane w taki sposób, aby w każdej jego warstwie średnia zawartość glutenu nie odbiegała od pożądanej wartości niezbędnej dla procesu produkcyjnego.

Zauważmy, że sprostanie temu zadaniu wymaga takiego gromadzenia zapasów zboża, aby można było ciągle otrzymywać mieszankę zboża o zadanej średniej zawartości glutenu. Należy podkreślić, że skupowanie zboża o z góry określonej zawartości glutenu jest w praktyce niemożliwe, na co składa się szereg przyczyn, takich jak: rozdrobnienie rolnictwa pociągające za sobą odmienne sposoby uprawy, różnice w jakości gleby, zróżnicowanie parku maszynowego dostawców itp.

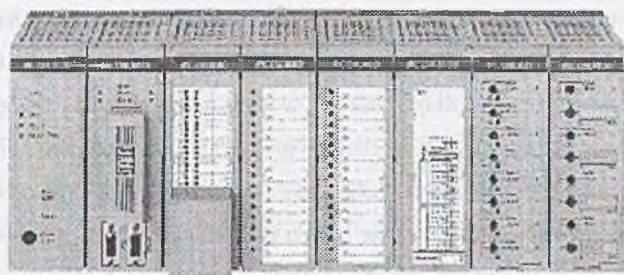
Opisywany zakład młynarski, znajdujący się w miejscowości Poniec, należy do grupy zakładów średniej wielkości. Jego magazyn składa się z sześciu silosów, a rozpiętość magazynu wynosi kilkadziesiąt metrów. W związku z powyższym, obsługa magazynu musi liczyć 5-6 osób, gdyż wszystkie niemal czynności związane ze wspomnianymi zadaniami wykonywane są ręcznie - w sposób niezautomatyzowany. Przede wszystkim po ustaleniu przez laboratorium zawartości glutenu w partii zboża z dostawy należy zanotować wagę oraz gluten danej partii i zdecydować, do którego silosu powinna ona być wysypana. Operator sam musi otworzyć zasuwę wlotową wybranego silosu. Na podstawie notatek operatora przyjmującego zboże do magazynu sporządza się mieszankę zboża, która jest transportowana do zbiornika produkcyjnego. Powinna się ona charakteryzować określoną średnią zawartością glutenu. Ponieważ zboże nie może zbyt długo zalegać w silosie magazynowym, technologicznie wskazane jest sporządzanie mieszanki ze zboża wysypywanego z możliwie największej liczby silosów. Przy sporządzaniu mieszanki należy notować ubytki zboża z poszczególnych silosów, jak również uwzględniać wcześniejsze notatki o rozchodzie ziarna z silosów. Wszystko to musi być dokonywane na bieżąco, tak aby zbiornik produkcyjny, z którego zboże trafia do przemiału, był stale napełniony. Oznacza to, że operatorzy magazynu muszą też śledzić prędkość ubywania ziarna z tego zbiornika, żeby - z jednej strony - nie dopuścić do przestoju młynów, a z drugiej strony, aby nie przepelnić zbiornika w przypadku spowolnienia odbioru mieszanki przez dział produkcyjny. Komplikuje to oczywiście jeszcze bardziej pracę operatorów magazynu, gdyż nie wystarcza tutaj obliczenie proporcji mieszania zboża z poszczególnych silosów - trzeba jeszcze ustalić prędkość zsypu ziarna. Przyjmuje się, że prędkość zsypu ziarna jest proporcjonalna do stopnia uchylenia zasuw spustowej. Ponieważ prędkość ta zależy od wilgotności ziarna, konieczne jest co pewien czas sprawdzanie wilgotności zboża i korygowanie stopnia otwarcia zasuw.

Biorąc pod uwagę wszystkie omówione czynniki, które trzeba uwzględniać w trakcie kierowania pracą magazynu, łatwo możemy sobie wyobrazić, że przy ręcznym sposobie obsługi nawet tylko zgrubne sprostanie stawianym zadaniom jest niezwykle trudne i nie do

utrzymania w sposób ciągły, co ma oczywiście negatywny bezpośredni i pośredni wpływ na jakość produkowanej mąki oraz wydajność zakładu.

3. Automatykacja pracy magazynu

Aby sprostać wymaganiom dostarczania zboża o zadanej, ustabilizowanej średniej zawartości glutenu w mieszance trafiającej do zbiornika produkcyjnego, przyjęto, że mieszanie zboża będzie dokonywane w sposób ciągły na transporterze przenoszącym zboże do zbiornika produkcyjnego. Mieszanie to polega na zasypywaniu transportera z silosów we właściwym stosunku ilościowym, tak aby w warstwie zboża pokrywającej transporter po przejściu pod spustami wszystkich silosów średnia zawartość glutenu była zgodna z zadaną. Wymaga to oczywiście zapewnienia możliwości dozowania zboża z poszczególnych silosów z określoną wydajnością, która musi podlegać sterowaniu.



Rys. 1. Sterownik PLC SAIA PCD4
Fig. 1. SAIA PCD4 PLC controller

Przyjęta koncepcja automatyzacji polega na wykorzystaniu sterownika przemysłowego SAIA PCD4 (rys.1) oraz systemu sterowania nadrzędnego i wizualizacji typu MMI/SCADA o nazwie TelWin, co pozwoli na skomputeryzowanie stanowiska operatora. W kluczowych punktach magazynu zostaną wprowadzone napędy ze sterowaniem automatycznym. Zasuwy górne silosów byłyby otwierane oraz zamykane poprzez siłowniki elektromagnetyczne, natomiast w miejsce zasuw dolnych zaproponowano układ wirnika z łopatkami zabierającymi, napędzanego poprzez falownik. W takim rozwiązaniu ilość zboża wysypującego się ze zbiornika jest proporcjonalna do obrotów wirnika. Prędkość obrotowa wirnika jest sterowana poprzez falownik. Rozwiązanie takie zapewnia dokładną regulację w szerokim zakresie.

Sterownik wykorzystany w systemie spełnia następujące funkcje:

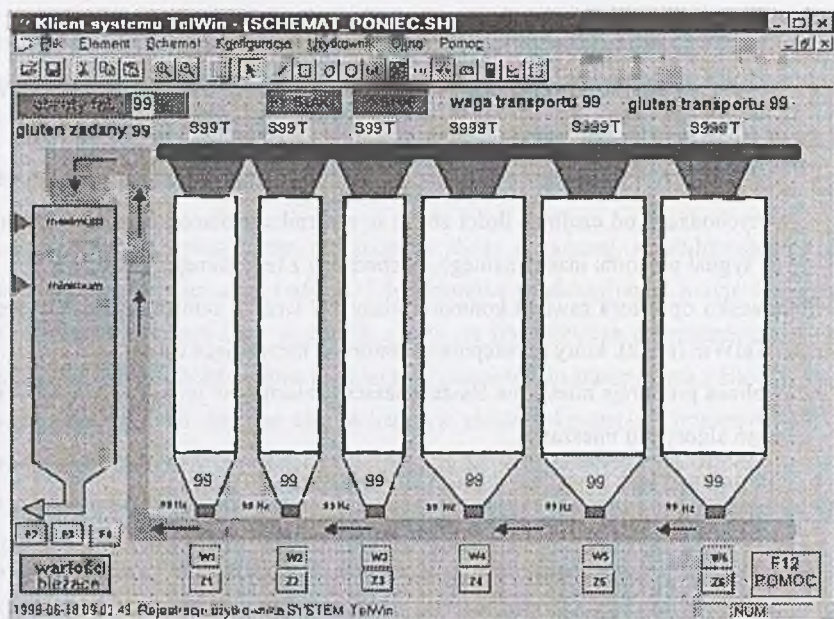
- Steruje otwieraniem i zamykaniem zasuw wlotowych poszczególnych silosów.
- Steruje falownikami, napędzającymi wirniki z łopatkami zabierającymi.
- Załącza cały system dozowania zboża na sygnał minimalnego poziomu zboża, przychodzący od czujnika ilości zboża w zbiorniku produkcyjnym i wyłącza go - na sygnał poziomu maksymalnego, pochodzący z tego samego zbiornika.

Stanowisko operatora zawiera komputer klasy PC wraz z zainstalowanym systemem wizualizacji TelWin (rys.2), który udostępnia operatorowi następujące usługi:

- Oblicza proporcje mieszania zboża z sześciu zbiorników jednocześnie wg specjalnego algorytmu mieszania.
- Informuje o ilości i jakości zboża w zbiornikach.
- Informuje o stanach zasuw w silosach (otwarte – zamknięte).
- Wykrywa i sygnalizuje stany alarmowe wynikające z różnych powodów, np. uszkodzeń sprzętu, błędów programowych, błędów transmisji, przekroczeń poziomów niektórych parametrów.
- Generuje raporty o operacjach wykonywanych na obiekcie.
- Pozwala operatorowi na sterowanie nadrzędne, nadzorowanie i monitorowanie procesu z jednego miejsca - za pomocą wygodnego interfejsu MMI.

Cały układ pozwala na w pełni automatyczną pracę magazynu od przyjęcia zboża do wysłania mieszanki do działu produkcji. Proces przyjęcia zboża do magazynu będzie teraz wyglądał następująco: Operator po otrzymaniu informacji z laboratorium o parametrach próbki dostawy wpisze je, za pośrednictwem komputera, do systemu. System dokona wyboru silosu, do którego należy wsypać zboże i otworzy odpowiednią zasuwę. Następnie system obliczy proporcje mieszania zboża wg odpowiedniego algorytmu i na sygnał operatora rozpocznie zsyp. Gdy operator wybierze tryb automatyczny pracy systemu, mieszanie i zsyp będą odbywać się w trybie ciągłym, a jego załączanie i wyłączanie będzie realizowane na podstawie sygnałów informujących o minimalnej bądź maksymalnie dopuszczalnej ilości ziarna w zbiorniku produkcyjnym.

Centralnym zadaniem systemu jest właściwe mieszanie zboża z poszczególnych silosów. W tym zakresie zaproponowano dwa algorytmy. Algorytm pierwszy, którego pierwsza wersja została podana w [1], umożliwia automatyczne wyznaczanie proporcji dozowania zboża z sześciu silosów magazynu, zapewniające otrzymanie mieszanki o zadanej średniej zawartości glutenu. Obecnie zostanie przedstawiony drugi z algorytmów, który jest ogólniejszy,



Rys.2. Ekran synoptyczny magazynu zbożowego
Fig.2. Synoptic screen of the grain storehouse

tnz. pozwala na automatyzację złożonego procesu decyzyjnego, w którym możliwe jest nie tylko wyznaczenie proporcji mieszania zboża zapewniającej uzyskanie mieszanki o zadanej średniej zawartości glutenu, lecz również uwzględnienie przy mieszaniu zboża innych jego parametrów, w szczególności tych, które mają wpływ na wartość wymiałową ziarna w sporządzanej mieszance, a więc np. wilgotności ziarna.

Przyjęto, że każdy z silosów będzie gromadził zboże o trzech kolejnych zawartościach glutenu. Oznacza to, że po oznaczeniu przez laboratorium zawartości glutenu w zbożu z bieżącej dostawy operator wpisuje tę zawartość oraz wagę dostawy w odpowiednie miejsce formularza dostaw w systemie *TelWin*, a system powiadamia operatora, do którego silosu powinno zostać ono wyspane oraz sam otwiera zasuwę wlotową tego silosu, który przeznaczony jest do przechowywania ziarna o danej zawartości glutenu. System oblicza też średnią ważoną zawartość glutenu w zbożu poszczególnych silosów wg następującej zależności:

$$\bar{g}_i = \frac{\sum_j m_j g_j}{\sum_j m_j} \quad (1)$$

gdzie: g_i - średnia zawartość glutenu w zbożu znajdującym się w silosie i ;
 g_j - zawartość glutenu w zbożu dostawy j skierowanej do silosu i ;
 m_j - waga dostawy j , o zawartości glutenu g_j , skierowanej do silosu i .

Ponadto przyjęto, że w analogiczny sposób mogą być wyznaczone wartości średnie innych parametrów technologicznych ziarna w każdym z silosów, co jest istotne z punktu widzenia zadania mieszania zboża, w którym będą uwzględniane te parametry. Tego typu problem jest złożonym problemem decyzyjnym, gdyż przyjęta decyzja powinna uwzględniać więcej niż jedną przesłankę.

Jak wiadomo, każdy problem decyzyjny może być sprowadzony do problemu optymalizacyjnego, co stanowi podstawę automatyzacji jego rozwiązania, przy założeniu że istnieje odpowiedni algorytm rozwiązania danego problemu optymalizacyjnego. Złożony problem decyzyjny sprowadza się w ogólności do zagadnienia optymalizacji wektorowej lub inaczej optymalizacji wielokryterialnej. Trudność tego zagadnienia polega na teoretycznej nierozstrzygalności problemu wyboru najlepszego rozwiązania ze względu na zbiór funkcji – kryteriów, co wynika z niemożliwości uporządkowania wektorów w przestrzeni ponadjednowymiarowej.

Klasycznym warunkiem optymalności rozwiązania w problemach optymalizacji wektorowej jest optimum w sensie Pareta (porównaj np. [1,3,6]). Definicja tego pojęcia zakłada rezygnację z jednoczesnej ekstremalizacji wszystkich kryteriów w ramach zbioru rozwiązań dopuszczalnych (tzn. takich, które spełniają ograniczenia zadania) na rzecz możliwie jak najlepszej realizacji każdego z celów. Jest to równoznaczne z poszukiwaniem rozwiązania kompromisowego, dla którego wartości poszczególnych funkcji celu – kryteriów możliwie jak najmniej różnią się od swoich optimum.

Opisany problem mieszania zboża może być przedstawiony za pomocą modelu matematycznego zadania wielokryterialnego programowania liniowego postaci (2)-(7), w którym funkcjami celu są odchyłki dodatnie ΔK_k^+ i ujemne ΔK_k^- od pożądaných, technologicznie optymalnych wartości poszczególnych parametrów sporządzanej mieszanki, takich jak średnia zawartość glutenu, średnia wilgotność, itd. Ograniczenia (3) zadają wartości wspomnianych parametrów, dopuszczając jednocześnie odchylenia, które powinny być jak najmniejsze. Nierówności (4)-(5) ograniczają wartości tych odchyłeń oraz wyznaczanych udziałów x_i zboża z poszczególnych silosów w sporządzanej mieszance do wartości dodatnich. Z kolei, ograniczenia (6) umożliwiają ustalanie przez operatora maksymalnego $x_{i,max}$ i (lub) minimalnego $x_{i,min}$ udziału zboża z silosu i w sporządzanej mieszance, co pozwala uwzględniać stopień wypełnienia poszczególnych silosów i prowadzić gospodarkę zapasami w długim horyzoncie czasowym. Równanie (7) ma na celu normalizację wyznaczonych udziałów x_i , oraz zapewnienie, że ich suma stanowi 100% sporządzanej mieszanki.

$$\begin{aligned} \text{Zminimalizować:} \quad \Delta K^+ &= [\Delta K_1^+ \Delta K_2^+ \dots \Delta K_q^+]^T \\ \Delta K^- &= [\Delta K_1^- \Delta K_2^- \dots \Delta K_q^-]^T \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{przy ograniczeniach:} \quad K_1(x) = \sum_i x_i \bar{g}_i - \Delta K_1^+ + \Delta K_1^- = g, \quad (3)$$

$$K_2(x) = \sum_i x_i \bar{w}_i - \Delta K_2^+ + \Delta K_2^- = w,$$

⋮

$$K_q(x) = \sum_i x_i \bar{c}_i - \Delta K_q^+ + \Delta K_q^- = c,$$

$$\text{oraz} \quad \Delta K_k^- \geq 0, \quad \Delta K_k^+ \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, q, \quad (4)$$

$$x_i \geq 0, \quad (5)$$

$$x_i \leq x_{i \max}, \quad x_i \geq x_{i \min}, \quad (6)$$

$$\sum_i x_i = 1, \quad (7)$$

$i = 1, 2, \dots, N$ (N – liczba silosów),

gdzie:

$\Delta K_k^-, \Delta K_k^+$ – odchyłki dodatnie i ujemne od pożądaných wartości parametrów mieszanki;

x_i – poszukiwany udział zboża z silosu i w sporządzanej mieszance;

g, w, c – dane, technologicznie pożądanе wartości poszczególnych parametrów sporządzonej mieszanki, takie jak zawartość glutenu, wilgotność, itd.;

$\bar{g}_i, \bar{w}_i, \bar{c}_i$ – wartości średnie odpowiednio glutenu, wilgotności oraz innych parametrów zboża z silosu i ;

$x_{i \max}, x_{i \min}$ – zadawany, dopuszczalny maksymalny i minimalny udział zboża z silosu i .

Przedstawiony powyżej problem wielokryterialnego programowania liniowego w przypadku rozpatrywanego zastosowania może być sprowadzony do jednokryterialnego zdania programowania liniowego ze zagregowaną funkcją celu:

$$\text{Zminimalizować:} \quad F(x) = v^T \Delta K^- + v^T \Delta K^+ \quad (8)$$

$$\text{przy ograniczeniach} \quad (3)-(7)$$

$$\text{oraz:} \quad \sum_k v_k = 1, \quad v_k \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, q, \quad (9)$$

gdzie v_k – wagi przypisane poszczególnym parametrom mieszanki.

Zwróćmy uwagę, że minimalizowana jest tutaj suma ważona odchyłek od znanych, technologicznie pożądaných wartości poszczególnych parametrów mieszanki. Arbitralne ustalenie znormalizowanego wektora dodatnich wag v pozwala hierarchizować kryteria - odchyłki. W ten sposób możemy np. spowodować, aby w pierwszym rzędzie minimalizowana była

odchyłka średniej zawartości glutenu w mieszance zboża od pożądanej wartości g_z , gdyż jest to najważniejszy parametr, dopiero - niejako w drugiej kolejności - minimalizowana byłaby odchyłka od pożądanej średniej wilgotności w_z mieszanego ziarna oraz kolejno odchyłki innych jeszcze parametrów. Przedstawiony problem programowania liniowego (8), (3)-(7), (9) może być rozwiązany w oparciu o znane algorytmy, np. metodę simpleksów lub metodę przedstawioną w [5].

Po wyznaczeniu udziałów x_i zboża z poszczególnych silosów w sporządzanej mieszance są one zamieniane na sterowania dla falowników napędzających łopatki zabierające zboże z silosów.

4. Podsumowanie

Przedstawiony sposób automatyzacji pracy magazynu zbożowego umożliwia właściwe dozowanie zboża z poszczególnych silosów w procesie sporządzenia mieszanki o pożądanych parametrach technologicznych, przeznaczonej dla działu produkcyjnego. Zastosowanie przedstawionego algorytmu mieszania, oprócz zapewnienia pożądanej średniej zawartości glutenu w mieszance, która jest najważniejszym parametrem, zapewniającym właściwą wartość wypiekową mąki, pozwala uwzględniać również kryteria odnoszące się do wartości wymiarowej, co umożliwia osiąganie wysokiego wyciągu mąki przy niskich kosztach przemiału. Reasumując, daje to możliwość dokładnego spełnienia wymaganych warunków technologicznych. Ponadto zastosowanie systemu MMI/SCADA umożliwia pełne monitorowanie i archiwizowanie przebiegu procesów w magazynie, pozwalając na pełne odtworzenie tego przebiegu, a tym samym stwarza warunki dla pełnej identyfikowalności wyrobów. Obydwa te czynniki stanowią podstawę spełnienia wymagań norm jakościowych serii ISO 9000.

Warto też zauważyć, że automatyzacja pracy magazynu pozwoli zredukować licznosc jego obsługi, a co za tym idzie - obniżyć koszty jego działania.

LITERATURA

1. Charnes A., Cooper W.W.: Management models and industrial applications of linear programming. J. Wiley & Sons, New York 1961.
2. Dłużewski M., Nowotny F., Pałasiński M. i in.: Chemia i technologia przemysłów rolnych. PAN, PWRiL, Warszawa 1961.
3. Kulikowski R.: Sterowanie w wielkich systemach. WNT, Warszawa 1974.
4. Purol R.: Sterowanie magazynem zbożowym w miejscowości Poniec z wykorzystaniem sterownika SAIA PCD4. Praca dypl. (niepublikowana), Politechnika Poznańska 1999.
5. Słowiński R., Warczyński J.: Application of the Ellipsoid Method in an Interactive Procedure for Multicriteria Linear Programming. ZOR-Zeitschrift für Operations Research, vol. 28, 1984, pp. 89-100.

6. Warczyński J.: Wielokryterialna optymalizacja rozdziału zasobów w systemach typu kompleks operacji. Praca doktorska, Poznań 1983. (praca niepublikowana).
7. Warczyński J.: Zautomatyzowane systemy wytwarzania. Raport z badań (praca niepublikowana), 1998.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. E.Dudek-Dyduch

Abstract

An automation solution for the grain storehouse of a flour-mill workshop has been presented in this paper. The purpose of automating is to increase the productivity of the storehouse and to meet process requirements of ISO 9000 quality norm series. According to these norms reliable and efficient quality control must be performed as an entity which includes all phases of a life cycle of a product.

The described solution includes automating the main functions of a storehouse such as grain receiving, preparing grain mixture for the production division and assurance continuity of mixture transportation to the mill workshop. To automate control of the above mentioned functions a PLC controller has been used. Also a MMI/SCADA system of integrated programs for supervising and monitoring of the automated processes has been applied.

The central task of the storehouse is preparing grain mixture for the mill-workshop. It is very important for achieving high quality of flour that the grain mixture delivered to the mill-workshop meets technological demands. First of all it should contain specified mean amount of gluten and should be of desired humidity. In consequence the problem of proper mixture preparing is a multicriteria decision problem. Such a problem can be solved after transformation it to the optimization one. In the paper the specified multicriteria decision problem has been transformed into linear programming problem which can be solved by commonly known algorithms.